物联网实现全球亿万种物品之间的互连，将不同行业、不同地域、不同应用、不同领域的物理实体按其内在关系紧密地关联在一起，对小到螺丝、铅笔，大到飞机、轮船等巨量物体进行联网与互动。物联网能够实现社会活动和人们生活方式的变革，被预言为继互联网之后新的全球信息化产业浪潮，受到各国政府、企业和学术界的广泛重视。

　　从信息技术角度看，物联网是指具有感知和智能处理能力的可标识的物体，基于标准的可互操作的通信协议，在宽带移动通信、下一代网络和云计算平台等技术的支撑下，获取和处理物体自身或周围环境的状态信息，对事件及其发展及时做出判断，提供对物体进行管理和控制的决策依据，从而形成信息获取、物体管理和控制的全球性信息系统。物体能够在人类直接干预或无需人工干预条件下感知事件、触发动作和生成服务，通过协同的感知和互动来影响甚至控制事件向有利的方向发展。物联网充分体现了物理世界和信息空间的深度融合，使人类可以融入到一体化的智能生态环境中，实现人、机、物的协同统一。

　　作为崭新的综合性信息系统，物联网并不是单纯的网络概念，它包括信息的感知、传输、处理决策、服务等多个方面，呈现出自身显著的特点。首先是对客观物理世界的全面感知，它不仅表现在对单一的现象或目标进行多方面的观察获得综合的感知数据，也表现在对现实世界各种物体现象的普遍感知；其次是物联网实体间的泛在互联，表现在各种物体经由多种接入模式实现异构互联，也突出表现在物联网不仅包括互联网、电信网等公共网络，还包括电网和交通网等专用网络，错综复杂，形成“网中网”的形态；第三是智慧的信息处理和决策，它体现在物联网中从感知到传输到决策应用的信息流，并最终为控制提供支持，也广泛体现出物联网中大量的物体和物体之间的关联和互动。物体互动经过从物理空间到信息空间，再到物理空间的过程，形成感知、传输、决策、控制的开放式的循环。

　　物联网不同于感知信息收集的传感器网络，也不同于信息传输的互联网。它包含亿万种多样的物体，承载和处理巨海量的感知信息，容纳各种模式的接入和通信模式，实现从感知、处理到控制的循环过程。其系统架构如何构成，采用什么样的体系结构，现已成为物联网研究的核心问题之一。

　**1 从云计算到海计算**

**1.1 云计算**

　　云计算是互联网发展带来的一种新型计算和服务模式，它是通过分布式计算和虚拟化技术建设数据中心或超级计算机，以租赁或免费方式向技术开发者或企业客户提供数据存储、分析以及科学计算等服务。广义上讲，云计算是指厂商通过建立网络服务集群，向多种客户提供硬件租赁、数据存储、计算分析和在线服务等不同类型的服务。云计算的主要服务形式有以亚马逊公司为代表的基础设施即服务，以Saleforce为代表的平台即服务，以及以微软代表的软件即服务等。

　　云计算的“云”就是存在于互联网的服务器集群上的服务器资源，包括硬件资源（如服务器、存储器和处理器等）和软件资源（如应用软件、集成开发环境等）。本地终端只需要通过互联网发送一条请求信息，“云端”就会有成千上万的计算机为你提供需要的资源，并把结果反馈给发送请求的终端。每个提供云计算服务的公司，其服务器资源分布在相对集中的世界上少量几个地方，对资源基本采用集中式的存放管理，而资源的分配调度采用分布式和虚拟化技术。云计算强调终端功能的弱化，通过功能强大的“云端”给需要各种服务的终端提供支持。如同用电用水一样，我们可以随时随地获取计算、存储等信息服务。

**1.2 物联网**

　　图1所示是欧盟发展框架7的CASAGRAS［1］工作组给出的物联网体系架构，包括感知层、传输层、处理层和应用层4个层次。在感知层中，嵌入有感知器件和射频标签（RFID）的物体形成局部网络，协同感知周围环境或自身状态，并对获取的感知信息进行初步处理和判决，以及根据相应规则积极进行响应，同时，通过各种接入网络把中间或最终处理结果接入到传输层；传输层包括宽带无线网络、光纤网络、蜂窝网络和各种专用网络，在传输大量感知信息的同时，对传输的信息进行融合等处理；在处理层提供存储和处理功能，表现为各种各样的数据中心以中间件的形式采用数据挖掘、模式识别和人工智能等技术，提供数据分析、局势判断和控制决策等处理功能。云计算的“云端”就在处理层，主要通过数据中心来提供服务；最上层的应用层建立不同领域中的各种应用。

　　

　　互联网也可以看成存在类似的架构，底层是数据传输的网络支撑层，中间是数据中心的处理层和上层是各种互联网应用。从层次架构来看，物联网不同于互联网的原因在于它的感知层。感知层获取数据的特性决定了物联网的上层相应要发生一些变化。

**1.3 海计算**

　　物联网具有显著的异构性、混杂性和超大规模等特点。异构性表现在不同制造商、不同拥有者、不同类型、不同级别、不同范畴的对象网络共存于物联网中，网络之间在通信协议、信息属性、应用特征等多个方面存在差异性，并形成混杂的异构网络或“网中网”形态；混杂性表现在网络形态和组成的异构混杂性，多信息源的并发混杂性，场景、服务和应用的混杂性等多个方面；物联网是物理世界与信息空间的深度融合系统，是涉及全球的人、机、物的综合信息系统，其规模之大无所不包。

　　物联网的上述特点决定了感知层数据的特性，即异构的、混杂的、大规模的实时流感知数据。同时，感知数据还具有一个显著特点就是时空特性，就是感知数据在特定时间和特定空间内才有意义，如果不在这个地点或过了这个时间，数据的意义可能就不大了。如中关村大街的交通相关信息，这些交通信息通过很多节点实时采集，是大数据量的随时间不断采样的实时流信息。这些信息谁需要？是在这个区域的人车才真正需要了解当时的详细拥塞或停车信息等，以便及时掌握交通动态，调整行车路线或停止地方。其他地方的人们可能不关心这个区域的交通信息，或仅仅只需要了解大概情况，实时性要求也不是很高，如了解中关村大街的历史交通信息等。另外，物联网的物体之间需要协同交互，对事件及时做出反应，这就需要实时性采集、处理和控制，如在中关村大街上前后行驶的两辆车需要实时交互，既要保持畅通行驶，又要通过保持一定的车距来保证安全性，这就需要在当前场景下局部空间内车辆之间实时通信和决策处理。

　　为此，我们针对物联网这些数据的特性提出了哑铃式的存储和计算模式。大量的感知信息在采集和使用的本地进行存储，经过处理后的中间或最后结果存储在互联网上（后端），放到云中的数据中心。感知信息的预处理、判断和决策等信息处理主要在当前场景下的前端完成，必要的需要大运算量的计算才通过“云端”的数据中心来处理。只有这样，才能节省通信带宽，否则网络很难传输这么多的感知数据；才能节省存储空间，数据中心再大也难存下实时流的原始感知数据，也没有必要存储原始感知数据；才能满足实时性的交互处理，如果通过互联网或云计算来做出处理和决定，就不能满足很多实时性的应用；更重要的是能够满足物联网的大规模的扩展性。物联网一定是分布式的系统，局部空间内的高度动态自治管理才有利于扩展性。

　　中科院现在提出“海计算”［2］这个新的计算模式，实质是把智能推向前端。智能化的前端具有存储、计算和通信能力，能在局部场景空间内前端之间协同感知和判断决策，对感知事件及时做出响应，具有高度的动态自治性。海计算的每个“海水滴”就是全球的每个物体，它们具有智能，能够协助感知互动。亿万种物体组成物联网系统，就如同海水滴形成大海一样。

**1.4 云海结合**

　　物联网涉及到全球的物体（包括人）规模，以及其应用需求和感知层数据的特性，决定了物联网的架构需要“云”和“海”相结合。一方面，在局部应用场景中，感知数据存储在局部现场，智能前端在协同感知的基础上，通过实时交互共同完成事件判断、决策等处理，及时对事件做出反应。另一方面，云计算的“云”的后端提供面向全球的存储和处理服务。物联网的各种前端把处理的中间或最后结果存储到云的后端。前端在本地处理过程中，在必要时需要后端的存储信息和处理能力的支持，及时发送服务请求获得云的后端支持。这具有良好的扩展性，既满足前端实时交互，又满足全球物体的互联互动。

**2 物联网体系结构**

　　除了获取、承载和处理超海量的感知信息这个显著特征外，物联网的另一个显著特征就是具有决策和控制功能，能够影响物体周围的环境或控制事件的进程；就是通过对物理世界的感知，对感知信息的传输和处理，到对事件的判断和决策，再回到控制执行器进行执行动作，从而对事件产生作用来影响事件的进程，形成从物理世界到信息空间再到物理世界的循环过程。

　**2.1 开放式循环结构**

　　物联网形成人机物的协调环境系统，包含从感知、传输、处理和控制的循环过程。物联网由亿万种物体、设备和人参与形成或与物理环境共存，这些对象之间存在极其复杂的关系（或称为关系链）。一个事件往往受到多种因素影响，这些因素本身也是动态变化的。如移动车辆在移动过程中所处局部环境具有高度动态性，因为车况、路况、周围车辆、无线接入网络等一直在变化。多种因素均会影响车辆间产生碰撞，造成交通事件，通过智能的感知、通信和控制人们可以避免车辆碰撞。这使得物联网的信息循环不同于传统的闭环控制，而是开放式的循环过程［3］。物联网开放式循环结构如图2所示。传感设备的感知信息包括物理环境的信息和物理环境对系统的反馈信息，执行器改变物理实体状态和实现系统对物理环境的反馈。系统会预先设定控制语义。计算设备对物理信息进行计算和判断，当判断值在控制语义下满足一定的触发条件时，控制设备会发送命令给执行器。

　　

　　由于物理环境、感知目标存在混杂性，信息设备存在一定的误差，以及其状态、行为存在不确定性等，对于循环结构而言，会带来获取的感知信息的不准确性，以及物体控制的不可靠性。因此，如何全面准确地获取感知信息，以及如何保证控制过程和结果符合设计要求，是开放式循环结构的两个重要方面。

**2.2 智能前端**

　　随着微电子、计算和通信等技术的发展，在物体中嵌入微型的感知、处理和通信等功能部件成为可能。越来越多的物体成为物联网的智能前端，带动物联网逐步应用和发展。智能前端兼有感知信息的获取、决策操作的执行，以及诸多的处理和交互功能，是局部自治环境中的终端实体，也是物联网的基本单元。

　　下面结合物联网的典型应用之一智能交通来说明前端的智能化。车辆安全系统能在人工干预或无需人工干预情况下，保证高速车辆的安全行驶，是智能交通的核心内容。图3所示是车辆安全协作系统架构［4］示意图。车辆通过传感器、全球定位系统（GPS）等设备收集车辆自身与周围环境的信息。计算模块中的消息产生机制产生车辆状态信息，并通过无线车载网络将状态消息广播给周围车辆。车辆通过专用短距离信道（DSRC）接收邻居车辆的状态信息，根据自身和多个邻居车辆的状态信息，预测车辆之间及车辆与周围环境之间的位置关系，以及可能发生的碰撞，及时调整车辆操作参数来提高车辆行驶的效率和保障安全。

　　

　　图3所示的架构仅仅把车辆状态信息及时广播出去，在车辆多的情况下，有可能产生信息传输延迟较大，甚至信息丢失。Fallah［5］等人考虑无线网络的通信状态，给车辆赋予更智能的功能，如图4所示。与传统的车辆安全协作系统架构不同之处在于，传输控制单元根据无线车载网络的信道情况和状态信息，调整发送的频率和消息长度，根据自身位置估计模型和实际位置决定是否发送自身位置信息，从而提高了系统的鲁棒性和扩展性。

　　

**2.3 融合系统体系结构**

　　体系结构是对系统的抽象描述。物联网系统既涉及规模庞大的智能电网，又包含智能医疗的医疗设备。目前世界各国都在结合具体行业推广物联网的应用，离形成全球的物联网系统还需要非常长的时间。提出面向全球物联网、适应各种行业应用的体系结构，与下一代互联网体系结构相比，具有更巨大的困难和挑战。现在研究人员通常只是从具体行业或小的系统去探索物联网的体系结构。

　　物联网与物理信息融合系统（CPS）［6-9］密切相关，这两个概念目前越来越趋向一致。Tan.Y［10］等人提出了一种CPS体系结构的原型，如图5所示。图5表示了物理世界、信息空间和人的感知的互动关系，给出了感知事件流、控制信息流的流程。

　　

　　CPS体系结构原型的几个组件描述如下：

　　（1）物理世界

　　物理世界包括物理实体（诸如医疗器械、车辆、飞机、发电站）和实体所处的物理环境。

　　（2）传感器

　　传感器作为测量物理环境的手段，直接和物理环境或现象相关。传感器将相关的信息传输到信息世界。

　　（3）执行器

　　执行器根据来自信息世界的命令，改变物理实体设备状态。

　　（4）控制单元

　　基于事件驱动的控制单元接受来自传感单元的事件和信息世界的信息，根据控制规则进行处理。

　　（5）通信机制

　　事件/信息是通信机制的抽象元素。事件既可以是传感器表示的“原始数据”，也可以是执行器表示的“操作”。通过控制单元对事件的处理，信息可以抽象地表述物理世界。

　　（6）数据服务器

　　数据服务器为事件的产生提供分布式的记录方式，事件可以通过传输网络自动转换为数据服务器的记录，以便于以后检索。

　　（7）传输网络

　　传输网络包括传感设备、控制设备、执行设备、服务器，以及他们之间的无线或有线通信设备。

**3 结束语**

　　虽然人们提出物联网这个词已有一段时间，但物联网的概念一直在不断的发展和演变。从最早的传感器网络和基于RFID的物体不断被跟踪记录，现已发展到物体的智能化，能够协同感知和交互，以及全球物体之间的深度互联和互动。目前，人们从不同行业探讨物联网的应用，进行“竖井式”的研发和推广应用。但是，到跨行业、跨领域，直到全球物体之间的互联互动，还有相当长的艰苦道路要走，现在只是勾画出人类信息发展的一个美好前景。

　　就像互联网改变人们的交流方式和商业模式一样，物联网也会改变人、信息空间和和物理世界的交互方式。它将人们所在物理世界和虚拟世界桥连起来，实现人与人、人与物、物与物的紧密耦合，形成一个智能、绿色、和谐的世界。物联网需要我们长期研究和探索其中的理论和技术问题。

　**4 参考文献**

　　［1］ Coordination and Support Action for Global RFID-Related Activities and Standardization ［EB/OL］。 ［2008-01-01］。 http://www.eeca-ict.eu/successstories/s13.pdf.

　　［2］ 孙凝晖， 徐志伟， 李国杰。 海计算：物联网的新型计算模型 ［J］。 中国计算机学会通讯， 2010（2）：39-43.

　　［3］ ASTROM K J， MURRAY R M. Feedback Systems： An Introduction for Scientists and Engineers ［M］。 Princeton， NJ， USA： Princeton University Press， 2008.

　　［4］ XU Q. Vehicle-to-Vehicle Safety Messaging in DSRC ［C］//Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks （VANET‘04）， Oct 1，2004， Philadelphia， PA， USA. New York， NY， USA： ACM， 2004:19-28.

　　［5］ FALLAH Y P. HUANG C L， SENGUPTA R， et al. Design of Cooperative Vehicle Safety Systems based on Tight Coupling of Communication， Computing and Physical Vehicle Dynamics ［C］//Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-physical Systems（ICCPS’10）， May 25-28，2010， Stockholm， Sweden. New York， NY， USA:ACM， 2010:159-167.

　　［6］ GROUP C S. Cyber-Physical Systems： Executive Summary ［R/OL］。 ［2008-03-06］ http://varma.ece.cmu.edu/Summit.

　　［7］ LEE E A. Cyber Physical Systems： Design Challenges ［C］//Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-time Distributed Computing （ISORC‘08）， May 5-7，2008， Orlando， FL， USA 。 Piscataway， NJ， USA： IEEE， 2008:363-369.

　　［8］ LEE E A. Cyber-Physical Systems： Are Computing Foundations Adequate ［R/OL］。 ［2006-10-16-17］。 http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/downloa.

　　［9］ STANKOVIC J A. Opportunities and Obligations for Physical Computing Systems ［J］。 Computer， 2005，38（11）：23-31.

　　［10］ YING T， VURAN M C， GODDARD S. Spatio-Temporal Event Model for Cyber-Physical Systems ［C］//Proceedings of the 29th International Conference on Distributed Computing Systems （ICDCS’09）， Jun 22-26，2009， Montreal， Canada. Piscataway， NJ，USA： IEEE， 2009:44-50.